

معهد الأنواء العراقي

الطاقة النووية

والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة

د. كمال عفت

١٩٨٢



Bibliotheca Alexandrina



0030364

مكتبة الأنواء العراقية

١

معهد الانماء المريج

الطاقة النووية
والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة

تأليف د. كمال عفت
ترجمة د. كمال عفت
و د. إبراهيم فتحي حمودة
الراجعة العلمية : د. محمد محمد صقر

الجامعة العربية الليبية الشعبية الاشتراكية
طرابلس - ١٩٨٠ .

سلسلة كتب « التكنولوجيا النووية في البلدان النامية »

تصدر عن:

معهد الانماء العربي، برنامج العلم والتكنولوجيا
بيروت - لبنان

جميع حقوق النشر محفوظة:

الطبعة الاولى بيروت ١٩٨٢

لا يجوز نشر أي جزء من هذا الكتاب أو
اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقله على أي
نحو أو بأي طريقة سواء كانت الكترونية أو
ميكانيكية أو بالتصوير أو خلاف ذلك، إلا
بموافقة الناشر على هذا الكتاب ومقدماته.

قائمة المحتويات

١٣	الباب الأول: الطاقة النووية - تطورها ووضعها الراهن
١٥	١ - ١ مقدمة
١٧	٢ - ١ التطور التاريخي للطاقة النووية
١٨	٣ - ١ الحاجة الى الطاقة النووية
٢٠	٤ - ١ الوضع الراهن للطاقة النووية
٣٠	٥ - ١ التنبؤات المستقبلية لبرامج الطاقة النووية
	١ - ٥ - ١ العوامل والظروف التي تؤثر على
٣٠	التنبؤات لنمو الطاقة النووية
	٢ - ٥ - ١ التغيرات وعدم اليقين للتقديرات
٣٣	والتنبؤات المستقبلية
	٣ - ٥ - ١ التقديرات المستقبلية في الدول
٣٥	المقدمة صناعياً
٤٠	٤ - ٥ - ١ التقديرات المستقبلية في الدول النامية
٥٣	الباب الثاني: أنواع نظم مفاعلات القوى النووية
٥٥	١ - ٢ مقدمة
٥٥	٢ - ٢ تقسم نظم مفاعلات القوى النووية
٥٨	٣ - ٢ مسح لنظم مفاعلات القوى النووية

الباب الأول

الطاقة النووية ،

تطورها ووضعها الراهن

بالنسبة لغرب أوروبا يبلغ ٢٥٠٠ كيلوات ساعة في السنة . وربما كانت الحاجة الملحة للطاقة الكهربائية في الدول النامية هي العنصر الرئيسي الذي يعتمد عليه احراز تقدمها ، فالطاقة الكهربائية مطلوبة كأداة للإنتاج ولزيادة كفاءة انتاج الطعام والتنمية الصناعية ورفع المعيشة الاجتماعي في تلك الدول ، الذي ما زال متخلفاً بدرجة كبيرة وراء المستويات في الدول الصناعية المتقدمة . ومن المعروف أن أحد الأهداف الرئيسية في وضع خطط التنمية الاقتصادية والصناعية والزراعية في أية دولة ، سواء كانت متقدمة أو نامية ، هو توفير امدادات كافية واقتصادية من الطاقة الكهربائية . ويتطلب تحقيق ذلك القيام باستغلال جميع موارد الطاقة المتاحة ، من الماء والفحم والبتروول والغاز واليورانيوم ، وذلك الى جانب استغلال المصادر الأخرى للطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة المد والرياح وطاقة الحرارة الأرضية والخلفات البيولوجية على أوسع نطاق ممكن . وخلال السنوات العديدة الماضية احتلت الطاقة النووية مكاناً بارزاً بين موارد الطاقة الأخرى ، كما أن الزيادة الحادة في الأسعار العالمية للبتروول ، والتي بلغت أربعة أضعاف في نهاية عام ١٩٧٣ ، وما ترتب عليها من نتائج بالنسبة لزيادة تكلفة انتاج الطاقة من المحطات الحرارية التقليدية ، قد جذبت الاهتمام الى مشروعات الطاقة النووية في كثير من الدول بوصفها مصدراً منافساً وحيوياً لانتاج الطاقة .

وبالرغم من اقرار الجدوى الاقتصادية للمحطات النووية فقد ظل الجدل حول مستقبل الطاقة النووية مستمراً ، كما ان الحاجة الى استخدام الطاقة النووية ظلت موضع تساؤل على أساس اعتبارات أخرى غير اقتصادية وألقيت الظلال على التوقعات الواضحة والباهرة للطاقة النووية ، من الهجمات التي توجهها جماعات معارضة يطلق عليها « المجموعات المناوئة للطاقة النووية » ، انهم يهاجمون الطاقة النووية بوصفها مصدراً خطيراً وغير مقبول للطاقة يقرن بها أضرار صحية وأخطار التخلص من النفايات المشعة بالإضافة الى مخاطر

التأكد من مجالات تخزين الوقود المستنفذ ، وإعادة المعالجة للوقود المحترق ، وإعادة استخدام المواد الانشطارية التي يتم فصلها من عملية إعادة المعالجة ، يلزم أن يعطي المشغلون للمفاعلات اهتماماً أكبر بتخزين الوقود المستنفذ وكذلك الحصول على كميات من اليورانيوم أكثر من الكميات المطلوبة في حالة إعادة الاستخدام للمواد الانشطارية المستخلصة من الوقود المستنفذ .

د - عدم التأكد من العمليات التنظيمية : ان التطور المستمر للمعايير التنظيمية قد كان لها أثر يتسم بعدم الاستقرار على الهيئات المنتجة للطاقة . ونتيجة ذلك هي اطالة الوقت اللازم الذي يسبق تنفيذ القرارات لمشروعات القدرات لتوليد الطاقة النووية .

هـ - تحول الرأي العام لتقبل الطاقة النووية : ان مختلف قطاعات الرأي العام مستمرة في التساؤل عن ضرورة الحاجة الى الطاقة النووية . وقد تحول الاهتمام مؤخراً من الأسئلة حول الأمان للمفاعلات الى مقدار ما هو متيسر من خدمات دورة الوقود بما في ذلك كميات موارد اليورانيوم وكذلك التخلص من النفايات المشعة .

و - التغييرات في الامدادات من الوقود التقليدي : ان الأحداث الأخيرة مثل الحظر على تصدير البترول في عام ١٩٧٣ ، واكتشاف مصادر البترول في الاسكا وفي بحر الشمال كان لها آثار متفاوتة وغير متوقعة على مختلف البرامج القومية لتطور الطاقة النووية . ويمكن أن تتضمن العوامل التي تؤثر على نمو الطاقة النووية على المدى الطويل الآتي :

أ - عوامل اجتماعية ذات طبيعة عالمية : يدخل تحت هذا البند المؤثرات التراكمية على النمو الاجالي للطاقة نتيجة لاتجاهات النمو في عدد السكان ، وأسلوب المعيشة ومصادر حماية البيئة ؛ التي غالباً ما تؤثر على نمو الطاقة النووية .

ب - تطور التكنولوجيا الحديثة للطاقة : وهذه ستؤثر بطبيعة الحال على غو الطاقة النووية . وقد تكون تكنولوجيا تحويل الفحم الى غاز هي الأولى في التأثير على النمط العالمي الاجالي لموارد الطاقة ، ثم يليها تطور نظم الطاقة الحرارية الأرضية و انتاج الهيدروجين والطاقة الشمسية والطاقة الاندماجية وستكون آثار هذه التكنولوجيات صغيرة نسبياً قبل سنة ٢٠٠٠ الا انه لا يمكن تجاهلها .

ج - السياسات القومية للطاقة والتعاون الدولي : ان السياسات القومية للطاقة مثل تلك الموجهة نحو الاستقلال في مجال الطاقة يمكن أن يكون لها اثر كبير وملوس على برامج الطاقة النووية كما أثبتت الاجراءات التي اتخذت بعد حظر البترول في عام ١٩٧٣ . الا أن هذه السياسات قد تصبح أقل أهمية بعد نهاية هذا القرن مفسحة الطريق أمام تأكيد أكبر على التعاون الدولي في تطوير تكنولوجيا الطاقة والى تجميع المصادر في ظل البيئة العالمية التي تتناقص فيها موارد الطاقة .

ومن الصعب جداً التعرف على تقدير انعكاسات تلك العوامل التي قد تؤثر على مستقبل النمو للطاقة النووية ؛ ومع ذلك فانه يمكن تقديم المقترحات المبدئية التالية :-

١ - انعكاسات العوامل الاقتصادية :

أحدث الركود الاقتصادي العالمي أثراً عميقاً على غو الطاقة النووية ، وقد لا يتم الانتعاش الكامل من هذا الركود خلال فترة السنوات القليلة القادمة ، نظراً للوقت الطويل اللازم لامكان الحصول على منافع من الاستثمارات والانشاءات الجديدة . ومن المتوقع أيضاً أن يترتب على هذا الركود عدة عواقب مثل اللجوء الى المحافظة على الطاقة ، والتغيير في أساليب الحياة وهذه سوف تستمر لمدة طويلة كما سيكون لها أهمية على المدى الطويل .

٢ - انعكاس عوامل امدادات الطاقة:

لا يمكن أن نتوقع إحلالاً على نطاق واسع لمصادر الطاقة القائمة حالياً قبل عام ٢٠٠٠. وإذا نجحنا في ادخال المفاعلات السريعة المتوالدة باستخدام وقود من البلوتونيوم للحفاظ على مواردها من اليورانيوم، فإن الطاقة النووية ستساهم بصورة رئيسية في سد الاحتياجات من الطاقة في المستقبل.

٣ - أثر تطور التكنولوجيا:

ان الوصول بدورة الوقود الى المستوى التجاري واستخدام البلوتونيوم في المفاعلات الحرارية سوف يكون لها على المدى القصير أثر على نمو الطاقة النووية. أما على المدى الطويل فإن تطور التكنولوجيا لنظم الطاقة الجديدة مثل الطاقة الشمسية والطاقة الاندماجية يمكن أن يكون لها أثر كبير على نمو الطاقة النووية بعد عام ٢٠٠٠.

٤ - أثر السياسات:

ان سياسة الدول الصناعية بالنسبة لزيادة المعدلات المرغوبة للطاقة النووية، وموقفها تجاه استعادة الطاقة التي يحتملها الوقود المستنفذ، وكذلك الاهتمام بتطوير المفاعلات السريعة المتوالدة سوف يكون لها أثر ملموس، ليس على برنامج انتاج الطاقة في المستقبل فحسب بل على النمو الاقتصادي ذاته. وأكثر من ذلك فإن التعاون في مجال الطاقة بين الدول الصناعية المتقدمة والدول النامية سيكون له أيضاً أثر كبير على التنمية الاقتصادية العالمية.

١ - ٥ - ٢ التغيرات وعدم التيقن للتقديرات والتنبؤات المستقبلية:

نظراً للعوامل المذكورة آنفاً وفي ضوء التغيرات في الظروف الاجتماعية والسياسية والاقتصادية فإن التقديرات والتنبؤات المنشورة لسعة الطاقة النووية في المستقبل تظهر تغيرات كبيرة كما انها كانت تتغير بصفة مستمرة

جدول (١٤) المسح الشامل الموسع للسوق ليشمل تقديرات اضافات القدرات النووية في جميع الدول النامية .

المناطق	تقديرات اضافات القدرة النووية (ميجاوات كهربائي)		
	بجول ١٩٨٠	بجول ١٩٨٥	بجول ١٩٩٠
أمريكا الوسطى والجنوبية ^(١)	-	١٦٨٥٠	٥٣٥٠٠
أوروبا والشرق الأوسط وأفريقيا ^(٢)	-	١٧٧٠٠	٥٤٢٠٠
آسيا والشرق الأقصى ^(٣)	-	٢٨٣٠٠	٨٢٣٥٠
دول التخطيط المركزي ^(٤)	-	٩٨٠٠	٢٩٨٠٠
المجموع	-	٧٢٦٥٠	٢١٩٨٥٠

- (١) المكسيك - البرازيل - الأرجنتين - فنزويلا - بيرو - شيلي - كولومبيا - كوبا - جامايكا - أورجواي - كوستاريكا - بناما - جمهورية الدومينيكان - الاكوادور - بوليفيا - جواتيمالا - السلفادور .
- (٢) اسبانيا - يوغوسلافيا - اليونان - تركيا - مصر - الأراضي المحتلة - الكويت - العراق - غانا - المغرب - الجزائر - نيجيريا - لبنان - الكاميرون - سوريا - البانيا - أوغندا - تونس - زامبيا - العربية السعودية .
- (٣) الهند - ايران - تايوان - كوريا - باكستان - تايلاند - الفيليبين (لوزون) - هونج كونج - سنغافورة - ماليزيا - أندونيسيا (جاوا) - جمهورية فيتنام - بنغلاديش .
- (٤) بولند - رومانيا - تشيكوسلوفاكيا - بلغاريا - المجر .

الاقتصادية ، على مجموعة متنوعة من عوامل هامة أخرى وعلى تأثير اختناقات ترتبط بالحالة السائدة في هذه الدولة . وسناقش هذا الجانب الهام بالنسبة لادخال الطاقة النووية في الدول النامية بالتفصيل في الباب الخامس من هذا التقرير . ويوضح الجدول رقم (١٥) أحدث التنبؤات عن الطاقة النووية في مختلف الدول النامية والتي نشرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية في طبعة عام ١٩٧٨ من تقريرها بعنوان «مفاعلات القوى في الدول الأعضاء» .

وتبين الأرقام الواردة بهذا الجدول أنه من المتوقع أن تبلغ سعة القدرات النووية ٢٨٨٤٢ ميجاوات كهربائي بحلول عام ١٩٩٠ وانها ستظل دون تغيير من الناحية العملية حتى نهاية عام ١٩٩٣ . وبمقارنة الأرقام الواردة بالجدول (١٥) بنتائج مسح السوق للاضافات من القدرات النووية المقدرة مستقبلياً حتى عام ١٩٩٠ والواردة بالجدول (١٢) والنتائج المراجعة لمسح السوق الواردة بالجدول (١٣) ، يتضح أن أحدث التقديرات التي نشرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية هي أكثر انخفاضاً من التقديرات المستقبلية السابقة لنتائج مسح السوق لعام ١٩٧٣ وتقل عنها بحوالي ٥٠ ٪ ، كما تقل كذلك عن النتائج المجددة لعام ١٩٧٤ بحوالي ٧٠ ٪ . وبالرغم من هذه الاختلافات والتفاوت بين مختلف التقديرات المستقبلية ، فمن الواضح أن التوقعات لدور القوى النووية في الدول النامية عظيمة ، ومن المقدر أن القوى النووية في الدول النامية ستزداد من مستواها الحالي الذي يبلغ حوالي ٢ ٪ الى ما يقرب من ٨ ٪ بحلول عام ١٩٨٥ وإلى حوالي ٢٠ ٪ بحلول عام ٢٠٠٠ .

وقد بلغ عدد مفاعلات الماء العادي المضغوط (PWR) التي تم تشغيلها حتى مايو ١٩٧٨ ، ٨٠ مفاعلاً يبلغ صافي الخرج لقدراتها الكهربائية ٥٠٠٠٠ ميجاوات ويبلغ عدد المفاعلات التي ما زالت في دور التخطيط أو تحت الانشاء ٢٣٨ مفاعلاً صافي قدرتها الكهربائية ٢٢٦٠٠٠ ميجاوات. وبذلك يكون عدد المفاعلات من هذا النوع التي تم تشغيلها أو في مرحلة التخطيط أو تحت الانشاء ٣١٨ مفاعلاً يصل مجموع صافي قدراتها الكهربائية الى ٢٧٦٠٠٠ ميجاوات تمثل أكثر من ٦٠٪ من القدرات الكهربائية لجميع أنواع المفاعلات الأخرى.

وتعمل حالياً محطات الطاقة النووية التي تستخدم مفاعلات الماء العادي المضغوط في ١٥ دولة كما يجري انشاؤها في ٢٢ دولة أخرى.

وتبين البيانات والأرقام السابقة أن خبرة التشغيل لمفاعلات الماء العادي المضغوط هي بالتأكيد الأكثر وفرة من بين جميع النظم الأخرى المتاحة وان اعتمادية هذا النوع من المحطات تكاد تتساوى مع اعتمادية المحطات التقليدية. كما ان الاداء الحالي للغالبية العظمى من المحطات التي تم تشغيلها حتى الآن يتم بصورة مرضية ، وتوضح الخبرة المكتسبة أن معامل التحميل لهذه المحطات يمكن اتخاذه بين ٦٠ - ٧٥٪ في الحسابات الاقتصادية والتخطيط.

وبالرغم من أن هناك بعض التحسينات الطفيفة التي يتم ادخالها على التصميم من الشركات المختلفة فانه لم يتم ادخال أية تغيرات تكنولوجية جوهرية على الأجزاء الرئيسية أو المواد المستخدمة. وقد اقتصر مجال التطوير الأساسي على الزيادة في حجم صافي القدرة الكهربائية للوحدات حيث تم زيادتها من حوالي ٢٠٠ - ٣٠٠ ميجاوات للمحطات التي تم تشغيلها حتى عام ١٩٦٢ ، الى حوالي ١٢٠٠ ميجاوات للمحطات التي تعمل حالياً.

وقد بلغت الطاقة المولدة من محطات مفاعلات الماء المضغوط حتى عام ١٩٧٨ أكثر من ١٠٠ بليون ك. و. س من الطاقة الكهربائية مما يعطي برهاناً

اضافياً على مدى اعتقاد وصلاحيه هذا النوع من نظم المفاعلات .

٢-٣-٢ مفاعلات الماء العادي المغلي (BWR)

١-٢-٣-٢ التطور التاريخي :

تم تطوير نظام مفاعلات الماء العادي المغلي بدافع الرغبة في خفض التكاليف عن طريق الاستغناء عن المبادلات الحرارية المستخدمة في تصميم مفاعل الماء العادي المضغوط ، وكذلك لتلافي الصعوبات التقنية التي ينطوي عليها تصميم وتشغيل المبادلات الحرارية .

وقد أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية بحوث نظرية مكثفة على ظاهرة الغليان في التجارب الشهيرة المعروفة باسم (BORAX) التي دعمت التنبؤ بأنه يمكن تصميم هذا النوع من المفاعلات بأمان واستقرار ، وقد أدى ذلك الى قيام شركة جنرال اليكتريك الأمريكية بتطوير وانشاء محطة « فالسيوس » لاختبار مفاعلات الماء المغلي في عام ١٩٥٧ بقدرة كهربائية صافي خرجها ٥ ميجاوات ، ثم أعقبها انشاء محطة « درسدن - ١ » التي بدأ تشغيلها على المستوى التجاري في عام ١٩٦٠ بقدرة كهربائية ١٨٠ ميجاوات ، ورغم تبني تصميم مفاعلات الماء المغلي على نطاق محدود في كل من الاتحاد السوفيتي وشركة (AEG) بالمانيا الغربية ، الا أن تطويرها لم يستمر ، ولم يعرض أي من الاتحاد السوفيتي أو المانيا الغربية محطات مفاعل الماء العادي المغلي للتصدير الى الخارج . وبذلك تبقى شركة جنرال اليكتريك الأمريكية المنتج والمورد الوحيد على النطاق العالمي لمفاعلات الماء العادي المغلي . وقد تم تصدير محطات مفاعلات الماء العادي المغلي الى كل من اليابان والهند وإيطاليا .

٢-٣-٢ الوصف ومات التصميم الرئيسية :

يتشابه نظام مفاعل الماء العادي المغلي ذو الدورة المباشرة بصفة أساسية مع

نظام مفاعل الماء العادي المغلي ذو الدورة المباشرة بصفة أساسية مع نظام مفاعل الماء العادي المضغوط ولكنه يختلف عنه في ناحية واحدة هامة هي سريان البخار من وعاء الضغط للمفاعل الى التوربين مباشرة بدون وجود مبادل حراري بينهما وبين الشكل رقم (٢) تمثيلاً تخطيطياً لهذا النظام من المفاعلات . ونظراً لأن هذا النوع من المفاعلات يسمح فيه بحدوث الغليان فان ضغط التشغيل داخل وعاء الضغط يكون أقل كثيراً من النظام السابق لمفاعلات الماء العادي المضغوط ، ويكون في حدود ٧٠ كجم/سم^٢ . وتؤدي هذه السمة من سمات هذا التصميم الى السماح بتصميم أوعية للضغط والدوائر المتصلة بها تكون أخف وزناً كما أنها تخفض درجة حرارة أغلفة الوقود ومستويات الاجهاد .

ونظراً لعدم وجود مبادلات حرارية وعدم الحاجة الى مضخات لضخ المياه في المحطات صغيرة القدرة والاقتصار على استعمال مضخات أصغر في المحطات الكبيرة الحجم فان نظام مفاعل الماء العادي المغلي يكون أخف وزناً من نظام مفاعل الماء العادي المضغوط لنفس القدرة .

وتتشابه حالة البخار الداخل الى التوربين من حيث الضغط ودرجة الحرارة ودرجة الجفاف مع حالته في نظام مفاعل الماء العادي المضغوط ، ولذلك فان التوربين يتطلب كذلك تصميماً خاصاً ، الا أن الكفاءة الحرارية لنظام مفاعلات الماء العادي المغلي (BWR) تكون أكبر منها في نظام مفاعل الماء العادي المضغوط (PWR) نظراً لأن البخار يمر مباشرة من وعاء الضغط الى التوربين دون أن يفقد جزءاً من طاقته في المبادل الحراري . ومن الاختلافات الجوهرية التي ترتبت على مرور البخار مباشرة من وعاء الضغط الى التوربين هي أن البخار يحمل معه بعض النشاط الاشعاعي . وينتج هذا النشاط الاشعاعي بصفة أساسية من عنصر النيتروجين ١٦ ، وهو نظير مشع قصير العمر جداً تبلغ فترة نصف عمره ٧ ثوان . ولذلك فان النشاط الاشعاعي في دائرة

البخار لا يوجد الا أثناء التشغيل فقط ، وقد برهنت خبرة التشغيل انه يمكن اجراء أعمال الصيانة على المياه المكثفة من توربين مفاعل الماء العادي المغلي وأجزاء مياه التغذية ، بعد إيقاف المفاعل دون تعرض كبير للاشعاع ، ولكن هذه الناحية ما زالت تؤخذ وتُقيّم ضد صالح نظام مفاعل الماء العادي المغلي رغم أن الخبرة الطويلة في تشغيل محطات تستخدم مفاعلات الماء العادي المغلي لم تظهر أن ذلك بشكل عيباً خطيراً الا في حالات خاصة عندما تكون هناك وحدة لازالة الملوحة ملحقه بالمحطة النووية ، وبطبيعة الحال ستكون بعض الرواسب من المواد المشعة في التوربين مما يجعل أعمال الصيانة والترميم لها أكثر صعوبة . وتزداد تلك الصعوبات في حالة حدوث أعطال في أعمدة الوقود تؤدي الى تسرب نواتج الانشطار المشعة الى المبرد .

ومن سمات التصميم الهامة لنظام مفاعل الماء العادي المغلي التي أدخلت في جميع التصميمات للمحطات النووية هي استخدام « وعاء اخاد الضغط » بدلا من وعاء الاحتواء التقليدي . وفي هذا التصميم إما ان يحاط المفاعل بخزانات كبيرة للمياه أو أن يتم تحويل النواتج من خلال قنوات خاصة في حالة وقوع « حادثة فقد مياه التبريد » LOCA الى خزانات في أسفل المفاعل . وتقوم المياه في هذه الخزانات بامتصاص الطاقة المتولدة في حالة وقوع مثل هذه الحادثة . ويؤدي ذلك الى استخدام وعاء أخف كثيراً في وزنه ، بحيث يكفي فقط لمقاومة تأثير موجة الصدمة الأولى . وتستخدم جميع تصميمات مفاعلات الماء العادي المغلي هذا التصميم الحديث لنظام أوعية الاحتواء والمعروف باسم « مارك - ٣ » (Mark-III) - ورغم أن هذا التصميم قد أقرته هيئة التنظيمات النووية الأمريكية (US NRC) وأصبح مقبولا ومستخدماً في جميع المحطات التي يجري انشاؤها على النطاق العالمي ، الا ان الخبرة الواسعة والكافية لتقييم أدائه من ناحية الأمان والاعتمادية لا زالت غير متوفرة .

ويستخدم في قلب المفاعل وقود من اليورانيوم المشع بنسبة

منخفض . هذا بالإضافة الى أن السوائل العضوية ليست سامة ، ومخاطر الحريق عند استخدامها ضئيلة . وعلى النقيض من الصوديوم فان السوائل العضوية لا تسبب الصدأ وبذلك يمكن استخدام الصلب العادي في انشاء أجزاء مكافئ . ورغم كل هذه الخواص والصفات المتميزة للسوائل العضوية الا أن من عيوبها الرئيسية هو تحللها تحت تأثير التعرض للتشعيع ، فهي تتحلل (مكونة بعض الغازات) وتتبلر (Polymerise) مكونة مادة سميكة مثل القطران تتراكم داخل الأجهزة وتسبب اتساخها . ويتطلب ذلك تعويض السائل العضوي ، الذي يفقد نتيجة لهذا التحلل بصفة منتظمة مما يؤدي الى صعوبات فنية في التشغيل وزيادة في التكاليف .

ونتيجة لهذه الصعوبات الفنية كان الاهتمام ضئيلاً لمواصلة تطوير هذا النظام في الولايات المتحدة الأمريكية أو في أي دولة أخرى . وفي الوقت الحاضر لا توجد هناك خبرة مفيدة تذكر لتشغيل هذا النظام من نوع المفاعلات ويمكن اعتباره ذو أهمية من الناحية التاريخية فقط .

٢ - ٥ - ٥ مفاعلات التحكم بازاحة الطيف النيوتروني (SSCR) :

يتشابه هذا النوع من المفاعلات من الناحية الأساسية مع مفاعل الماء العادي المضغوط (PWR) ويمكن اعتبار معظم السمات الفنية للتصميم ثبتت صلاحيتها وتجربتها الا انه نظراً لعدم انشاء أية نماذج أولية لهذا النظام من المفاعلات فقد تم اعتباره ضمن هذه المجموعة للمفاعلات المتقدمة .

وان الفرق الأساسي بين تصميم مفاعل التحكم بازاحة الطيف النيوتروني ومفاعل الماء العادي المضغوط المعروف هو في نظام التحكم المستخدم . فبم تبريد لقلب المفاعل بمخلوط من الماء العادي والماء الثقيل ويمكن تغيير النسبة بينهما حسب الحاجة . وتبعاً لهذه النسبة يمكن تغيير الطيف النيوتروني وبذلك يمكن التحكم في عدد النيوترونات الحرارية الداخلة الى الوقود . والتأثير الناتج

من هذا الأسلوب في التحكم هو امكان تغيير نسبة النيوترونات التي تتفاعل مع اليورانيوم ٢٣٥ وتؤدي الى الانشطار ، الى نسبة النيوترونات التي تتفاعل مع اليورانيوم ٢٣٨ لتكوين البلوتونيوم . وفي بداية التشغيل تؤخذ نسبة الماء الثقيل في مياه التبريد بحيث تكون أعلى من نسبة الماء العادي وبالتالي يتم زحزحة غالبية النيوترونات نحو اليورانيوم ٢٣٨ . وكلما استمر احتراق المادة الانشطارية بداخل أعمدة الوقود وانخفضت الفاعلية يتم زيادة نسبة الماء العادي تدريجياً بإحلاله محل الماء الثقيل ويتم بذلك ازالة الطيف النيوتروني ناحية التفاعل الانشطاري مع اليورانيوم ٢٣٥ . ويتحقق التحكم في المفاعل بهذا الأسلوب عن طريق ازالة الطيف النيوتروني دون الحاجة الى استخدام النيوترونات المستهلكة السامة . وفي مفاعلات الماء المضغوط العادية لا يمكن التحكم الكامل في الفاعلية بواسطة قضبان التحكم نظراً لأن الضغوط العالية جداً تحد من عدد الفتحات التي يمكن عملها في غطاء وعاء الضغط ، لذلك فان الطريقة المستخدمة حالياً في محطات الماء المضغوط هي « تسميم المفاعل » عمداً عند بداية التشغيل بإضافة تلك « السموم » وهي مواد بها قابلية لامتصاص النيوترونات الى الماء أو باستعمال سموم قابلة للاحتراق توضع بداخل وحدات الوقود أو بداخل قلب المفاعل . ويتم التحكم بانقاص كمية السموم وبذلك يتم اطلاق (أو زيادة) الفاعلية مع استمرار التشغيل . وهذا الأسلوب في التحكم لا شك انه يؤدي الى فقد في النيوترونات وتكاليف كبيرة للتشغيل ورغم أن فكرة استخدام ازالة الطيف النيوتروني في التحكم ، والتي سجلت لها براءة اختراع من شركة « بابلوك اند ويلكولس » الأمريكية ، يمكن أن تؤدي الى تحسينات كبيرة في نظام مفاعلات الماء المضغوط الحالية فانه لم يتم وضعها موضع التنفيذ العملي في أية محطة من المحطات التي تم تشغيلها حتى الآن .

الباب الثالث

دورات الوقود النووي

٣-١ عناصر دورة الوقود النووي:

تتضمن مجموعة العمليات التي تمر بها المواد حتى تستعمل كوقود للمفاعلات النووية، عناصر دورة الوقود النووي، ويمكن تقسيم عمليات دورة الوقود الى مجموعتين رئيسيتين كالآتي :- المجموعة الأولى وتشمل عمليات « الطرف الأمامي لدورة الوقود » والتي تغطي كل المراحل التي تسبق اتمام الاحتراق للوقود في قلب المفاعل وكذلك تفريغها الى وسائل التخزين وتشتمل على العمليات الرئيسية الثلاث الآتية :-

- أ - استخراج وطحن اليورانيوم.
- ب - تحويل اليورانيوم الى سادس فلوريد اليورانيوم « يوفل ٦ » والاثراء بالنظير « يو ٢٣٥ ».
- ج - تصنيع وحدات الوقود.
- أما المجموعة الثانية فتشمل عمليات « الطرف الخلفي لدورة الوقود ».
- وتغطي كل العمليات التي تلي انتقال الوقود المشع من قلب المفاعل الى وسائل التخزين وتشتمل على العمليات الرئيسية الثلاث الآتية :-
- د - تخزين الوقود المستنفد.
- هـ - اعادة معالجة الوقود المحترق.
- و - التخلص من النفايات المشعة.

ويوضح الرسم التخطيطي في شكل (٨) العناصر المختلفة لدورة الوقود، وسيتم وصف هذه العناصر بإيجاز في البنود التالية:

أولا الطرف الأمامي لدورة الوقود:

٣ - ١ - ١ استخراج وطحن اليورانيوم:

نظراً لأن اليورانيوم - ٢٣٥ هو المادة الوحيدة الموجودة في الطبيعة والقابلة للانشطار النووي لذا فهي تمثل نقطة البداية لانتاج الوقود الضروري لتشغيل المفاعلات النووية. ومنه أيضاً يستمد النظير الأكثر توافراً وهو اليورانيوم ٢٣٨ وهو المادة الخسبة لانتاج البلوتونيوم ٢٣٩ القابل أيضاً للانشطار النووي. وتعتبر أمريكا الشمالية وأفريقيا وأستراليا مصادر لحوالي ٨٠٪ من موارد اليورانيوم المؤكدة والمضمونة، وتوجد في صورة أحجار رملية مترسبة أو في تجمعات من البللور الصخري أو ترسيبات مشابهة أخرى مثل الترسيبات اللاتوافقية القديمة. وهناك مصادر فقيرة في اليورانيوم تمد العالم أيضاً بكميات اضافية صغيرة ويستخلص منها اليورانيوم كناتج ثانوي، مثل اليورانيوم الناتج من خامات الفوسفات عند تصنيع حامض الفوسفوريك ومن المحاليل الناتجة من تدوير خامات النحاس. هذا بالإضافة الى مصادر فقيرة أخرى مثل الرواسب البحرية السوداء والفحم، والفحم الحجري ومياه البحر. وتبذل جهود دولية على نطاق واسع للبحث عن اليورانيوم في دول متعددة في أمريكا الشمالية وأستراليا وآسيا وأفريقيا وأوروبا وأمريكا اللاتينية، وقد زادت هذه الجهود في السنوات الأخيرة حتى بلغ مجموع ما ينفق عليها في حدود ٤٠٠ الى ٥٠٠ مليون دولار سنوياً، وبنهاية عام ١٩٧٧، بلغ اجمالي الانتاج العالمي من اليورانيوم حوالي ٤٧٠٠٠ طن ويقدر معدل الانتاج السنوي في الوقت الحاضر بحوالي ٣٨٠٠٠ طن سنوياً.

ويعتبر توافر اليورانيوم من أهم العناصر الرئيسية لتطوير وتنمية الطاقة

